

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di SMA Negeri 1 Bati-Bati pada peserta didik kelas X semester ganjil tahun ajaran 2025/2026. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis TPACK terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik pada materi kimia hijau. Desain penelitian yang digunakan adalah *pre-test and post-test with non-equivalent control group design*, dengan dua kelas yang terlibat, kelas X B ditetapkan sebagai kelas eksperimen, sedangkan kelas X C dijadikan sebagai kelas kontrol. Pada kelas eksperimen diterapkan model pembelajaran PjBL berbasis TPACK, sementara ke las kontrol menggunakan model *Problem Based Learning* (PBL) sebagai pembelajaran konvensional. Pemilihan kelas dilakukan dengan teknik *purposive sampling* berdasarkan rekomendasi guru mata pelajaran kimia, dengan jumlah peserta didik sebanyak 34 orang pada kelas eksperimen dan 34 orang pada kelas kontrol.

Instrumen penelitian berupa soal tes keterampilan berpikir kritis yang dikembangkan berdasarkan indikator Robert Hugh Ennis. Instrumen ini terdiri atas *pre-test* dan *post-test* yang telah diuji validitas dan reliabilitasnya sebelum digunakan. Selain tes, data penelitian juga didukung oleh lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, angket respon peserta didik, serta dokumentasi

berupa foto dan video kegiatan selama proses pembelajaran berlangsung. Data penelitian dikumpulkan melalui dua tahap, yaitu *pre-test* untuk mengukur kemampuan awal peserta didik dan *post-test* untuk mengetahui peningkatan keterampilan berpikir kritis setelah diberi perlakuan. Hasil dari kedua tes tersebut dianalisis menggunakan uji statistik sesuai dengan tujuan penelitian. Analisis ini bertujuan untuk membandingkan keterampilan berpikir kritis antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, sekaligus menilai efektivitas dan pengaruh penerapan model PjBL berbasis TPACK pada pembelajaran kimia hijau, hasil uji statistik deskriptif disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Uji Statistik Deskriptif

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
<i>Pre-est</i> Eksperimen	34	63	29	92	54,26	14,590
<i>Post-Test</i> Eksperimen	34	51	49	100	82,62	13,138
<i>Pre-Test</i> Kontrol	34	43	31	74	54,38	10,857
<i>Post-Test</i> Kontrol	34	51	49	100	73,26	13,356
Valid N (listwise)	34					

Berdasarkan hasil analisis deskriptif, nilai *pre-test* pada kelas eksperimen diperoleh rata-rata sebesar 54,26 dan meningkat pada *post-test* menjadi 82,62. Dengan demikian, terdapat selisih peningkatan rata-rata sebesar 28,36. Pada kelas kontrol, rata-rata nilai *pre-test* sebesar 54,38 dan meningkat pada *post-test* menjadi 73,26. Selisih peningkatan rata-rata yang diperoleh pada kelas kontrol adalah sebesar 18,88.

1. Analisis Data *Pre-test*

a. Uji Normalitas

Pengujian normalitas menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov* dan *Shapiro-Wilk* dengan taraf signifikansi 0,05. Data dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai $\text{sig.} \geq 0,05$. Hasil Uji Normalitas *Pre-test* kelas eksperimen memiliki nilai signifikansi 0,651 (*Shapiro-Wilk*, nilai tersebut lebih besar dari 0,05 sehingga data *pre-test* kelas eksperimen berdistribusi normal. Sebaliknya, Kelas kontrol memiliki nilai 0,097 (*Shapiro-Wilk*), nilai tersebut juga lebih besar dari 0,05 sehingga data *pre-test* kelas kontrol berdistribusi normal.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa **data *pre-test* pada kedua kelas berdistribusi normal**. Distribusi normal atau distribusi Gaussian merupakan salah satu asumsi penting dalam analisis statistik. Ciri khasnya berbentuk kurva lonceng yang simetris, dengan rata-rata, median, dan modus bernilai sama. Sebagian besar data terkonsentrasi di sekitar nilai tengah, sedangkan data yang jauh dari rata-rata jumlahnya semakin sedikit (Isnaini dkk., 2025) sehingga uji beda kemampuan awal peserta didik dapat dilanjutkan menggunakan uji parametrik (*Independent Sample t-Test*).

b. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan dengan *Levene's Test* dengan taraf signifikansi 0,05. Data dinyatakan homogen apabila nilai signifikansi $\geq 0,05$. Hasil uji homogenitas menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,131 yang lebih besar dari 0,05. Uji homogenitas digunakan untuk mengetahui apakah beberapa kelompok data memiliki varians yang sama. Artinya, homogenitas menunjukkan bahwa

data dalam kelompok yang dibandingkan memiliki karakteristik yang serupa (Nurhaswinda dkk., 2025). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa **data *pre-test* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol memiliki varians yang homogen.**

c. Uji Beda Data Kemampuan Awal Peserta Didik

Uji beda dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan rata-rata kemampuan awal antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Karena hasil uji normalitas dan homogenitas menunjukkan bahwa data *pre-test* berdistribusi normal serta memiliki varians yang homogen, maka pengujian dilanjutkan dengan *Independent Sample t-Test*. *Independent sample t-test* merupakan metode statistik yang digunakan untuk membandingkan rata-rata dari dua kelompok sampel yang tidak berhubungan. Kelompok tersebut berasal dari subjek yang berbeda, sehingga analisis dilakukan dengan memperhatikan kesamaan atau perbedaan varians antar data (Palupi dkk., 2021). Oleh karena itu, sebelum uji dilakukan, perlu ditentukan terlebih dahulu apakah kedua kelompok memiliki varians yang sama atau berbeda. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

- H_0 : Tidak terdapat perbedaan rata-rata kemampuan awal peserta didik antara kelas eksperimen dan kelas kontrol.
- H_a : Terdapat perbedaan rata-rata kemampuan awal peserta didik antara kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *Sig. (2-tailed)* = 0,970 > 0,05. **Hal ini menunjukkan bahwa H_0 diterima dan H_a ditolak. Dengan**

demikian, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan rata-rata kemampuan awal peserta didik antara kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Kesimpulan tersebut menunjukkan bahwa sebelum diterapkan model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL) berbasis TPACK ataupun PBL pada materi Kimia Hijau, peserta didik kelas XB dan XC di SMAN 1 Bati-Bati memiliki kemampuan awal yang relatif sama. Artinya, kedua kelas berada pada kondisi awal yang seimbang sehingga dapat ditetapkan secara bebas sebagai kelas eksperimen maupun kelas kontrol tanpa dipengaruhi oleh rata-rata nilai *pre-test*.

2. Analisis Data *Post-Test*

Uji normalitas berfungsi untuk memeriksa apakah distribusi data mendekati distribusi normal, sehingga dapat menentukan apakah teknik analisis parametrik layak digunakan. Dalam penelitian pendidikan, pengujian normalitas pada skor *pretest* dan *posttest* menjadi langkah penting agar penggunaan analisis parametrik, seperti uji t atau ANOVA, dapat dipertanggungjawabkan secara statistik (A. P. Sari dkk., 2024).

a. Uji Normalitas

Jika data memenuhi asumsi normalitas, maka hasil analisis lebih valid dan mudah dipahami. Namun, ketika data tidak berdistribusi normal, peneliti biasanya beralih ke uji non-parametrik atau melakukan transformasi data agar sesuai untuk dianalisis (Nurhaswinda dkk., 2025). Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai signifikansi untuk kelas eksperimen sebesar 0,078 (*Shapiro-Wilk*). Sementara itu, kelas kontrol memperoleh nilai signifikansi 0,705

(*Shapiro-Wilk*). Seluruh nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa data hasil *post-test* keterampilan berpikir kritis peserta didik pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol berdistribusi normal. **Dengan demikian, asumsi normalitas terpenuhi sehingga uji parametrik dapat digunakan pada tahap analisis selanjutnya.**

b. Uji Homogenitas

Hasil perhitungan menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,983, nilai signifikansi tersebut lebih besar dari 0,05, sehingga dapat dinyatakan bahwa data hasil *post-test* keterampilan berpikir kritis peserta didik pada kelas eksperimen dan kelas kontrol bersifat homogen, homogen artinya keterampilan berpikir kritis peserta didik pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol memiliki varians yang sama (Rosanti & Harahap, 2022). **Dengan demikian, asumsi homogenitas terpenuhi sehingga analisis hipotesis dapat dilanjutkan dengan menggunakan uji parametrik *independent sample t-test*.**

c. Uji T

Hasil uji normalitas dan homogenitas data hasil *post-test* kedua kelompok memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas, maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian hipotesis menggunakan uji-t dua sampel independen (*independent sample t-test*) dengan taraf signifikansi 5%. Uji ini digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan keterampilan berpikir kritis antara peserta didik yang memperoleh pembelajaran dengan model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis TPACK pada materi Kimia Hijau di kelas XB sebagai kelas eksperimen, dan peserta didik yang memperoleh

pembelajaran dengan model konvensional dalam hal ini adalah model PBL di kelas XC sebagai kelas kontrol di SMAN 1 Bati-Bati. Adapun hipotesis penelitian yang diajukan adalah sebagai berikut.

- **H₀:** $\mu_1 = \mu_2 \rightarrow$ Tidak terdapat perbedaan keterampilan berpikir kritis antara peserta didik yang belajar dengan model PjBL berbasis TPACK dan peserta didik yang belajar dengan model konvensional pada materi Kimia Hijau.
- **H_a:** $\mu_1 \neq \mu_2 \rightarrow$ Terdapat perbedaan keterampilan berpikir kritis antara peserta didik yang belajar dengan model PjBL berbasis TPACK dan peserta didik yang belajar dengan model konvensional pada materi Kimia Hijau.

Kriteria pengambilan keputusan ditetapkan yaitu jika nilai *Sig. (2-tailed)* $> 0,05$ maka H₀ diterima, sedangkan apabila *Sig. (2-tailed)* $\leq 0,05$ maka H₀ ditolak. Berdasarkan hasil uji *independent sample t-test*, diperoleh nilai *Sig. (2-tailed)* sebesar 0,005. Jika nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05, H₀ ditolak dan H_a diterima, menunjukkan adanya perbedaan rata-rata yang signifikan antara kedua kelompok. Sebaliknya, jika nilai signifikansi lebih besar atau sama dengan 0,05, H₀ diterima, artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan (Sipahutar, 2023). **Dengan demikian, keputusan pengujian adalah menolak H₀ dan menerima H_a.**

Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara keterampilan berpikir kritis peserta didik kelas XB yang diberikan perlakuan dengan model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis TPACK dan peserta didik kelas XC yang mengikuti pembelajaran konvensional (PBL) pada materi Kimia Hijau di SMAN 1 Bati-Bati. Artinya, penggunaan model PjBL

berbasis TPACK berpengaruh positif terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

3. Persentase Ketuntasan

Persentase ketuntasan belajar dan capaian keterampilan berpikir kritis peserta didik dapat menjadi salah satu indikator untuk menilai efektivitas pembelajaran. Pada bagian ini, disajikan hasil ketuntasan belajar peserta didik pada kelas eksperimen dan kelas kontrol, baik sebelum (*pre-test*) maupun sesudah (*post-test*) diberikan perlakuan pembelajaran.

a. Persentase Ketuntasan Kelas Eksperimen

Sebelum diberikan pembelajaran menggunakan model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis TPACK, rata-rata keterampilan berpikir kritis peserta didik pada kelas eksperimen masih tergolong rendah. Data ketuntasan *pre-test* dan persentase indikator keterampilan berpikir kritis disajikan pada Tabel 4.2 dan 4.3 berikut.

Tabel 4. 2 Hasil Ketuntasan *Pre-test* Kelas Eksperimen

Ketuntasan	Persentase	Jumlah
Tuntas	11,76%	4
Tidak Tuntas	88,24%	30

Tabel 4. 3 Hasil Persentase Indikator Kemampuan Berpikir Kritis *Pre-test* Kelas Eksperimen

No	Indikator Berpikir Kritis	Total skor	Persentase
1	Memberikan penjelasan sederhana	270	53%
2	Mengembangkan keterampilan dasar	297	58%
3	Menarik kesimpulan	420	49%

No	Indikator Berpikir Kritis	Total skor	Persentase
4	Memberikan penjelasan lanjutan	282	55%
5	Merencanakan strategi dan taktik	576	56%
Rata-rata		54%	

Setelah pembelajaran berbasis PjBL dengan integrasi TPACK, terjadi peningkatan signifikan pada keterampilan berpikir kritis peserta didik. Rata-rata persentase naik menjadi 82,62 dengan kategori tinggi, dan ketuntasan belajar meningkat menjadi 82,35% (28 peserta didik tuntas). Peningkatan ini dapat dilihat lebih jelas pada Tabel 4.4 dan 4.5 berikut.

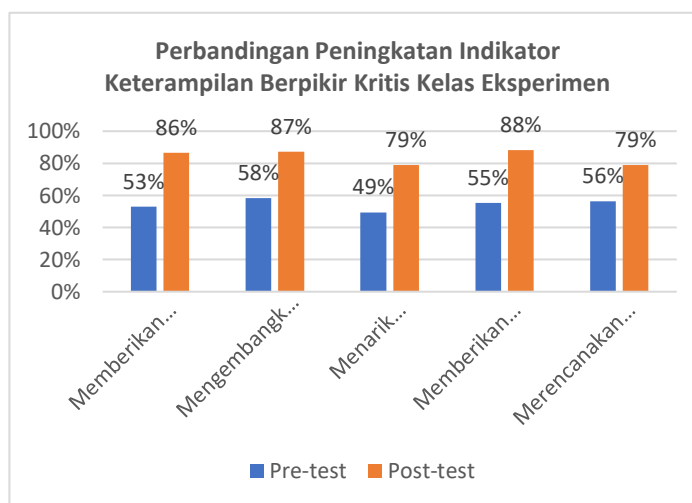
Tabel 4. 4 Hasil Ketuntasan *Post-test* Kelas Eksperimen

Ketuntasan	Persentase	Jumlah
Tuntas	82,35%	28
Tidak Tuntas	17,64%	6

Tabel 4. 5 Hasil Persentase Indikator Kemampuan Berpikir Kritis *Post-test* Kelas Eksperimen

No	Indikator Berpikir Kritis	Total skor	Persentase
1	Memberikan penjelasan sederhana	441	86%
2	Mengembangkan keterampilan dasar	444	87%
3	Menarik kesimpulan	670	79%
4	Memberikan penjelasan lanjutan	450	88%
5	Merencanakan strategi dan taktik	804	79%
Rata-rata		84%	

Berikut grafik perbandingan peningkatan indikator keterampilan berpikir kritis kelas eksperimen.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Peningkatan Indikator Keterampilan Berpikir Kritis Kelas Eksperimen

Berdasarkan data pada tabel dan grafik di atas, terlihat bahwa rata-rata persentase keterampilan berpikir kritis peserta didik pada kelas eksperimen sebelum diberi perlakuan masih berada pada kategori rendah, yaitu sebesar 54,26. Hanya sedikit peserta didik yang mencapai ketuntasan, yakni 11,76% atau 4 orang, sementara sisanya 88,24% atau 30 orang belum tuntas. Jika ditinjau dari masing-masing indikator, sebagian besar masih berada pada kategori rendah, seperti kemampuan memberikan penjelasan sederhana (53%), menarik kesimpulan (49%), dan memberikan penjelasan lanjutan (55%). Dua indikator lainnya sedikit lebih baik, yakni mengembangkan keterampilan dasar (58%) dan merencanakan strategi serta taktik (56%), tetapi keduanya hanya mencapai kategori sedang.

Setelah mengikuti pembelajaran dengan model PjBL berbasis TPACK, keterampilan berpikir kritis peserta didik mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Rata-rata persentase naik menjadi 82,62 dan berada pada kategori tinggi. Ketuntasan belajar juga meningkat secara mencolok, dengan 82,35% atau 28 peserta didik mencapai ketuntasan, dan hanya 17,64% atau 6 peserta didik yang masih belum tuntas. Hampir semua indikator berpikir kritis mengalami peningkatan ke kategori tinggi bahkan sangat tinggi. Indikator memberikan penjelasan sederhana (86%), mengembangkan keterampilan dasar (87%), dan memberikan penjelasan lanjutan (88%) termasuk dalam kategori sangat tinggi, sedangkan indikator menarik kesimpulan dan merencanakan strategi serta taktik masing-masing berada pada kategori tinggi dengan persentase 79%.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis PjBL dengan integrasi TPACK mampu mendorong peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik pada kelas eksperimen. Perubahan kategori dari rendah pada *pre-test* menjadi tinggi pada *post-test* memperlihatkan adanya perkembangan signifikan, baik dari segi ketuntasan belajar maupun capaian pada tiap indikator keterampilan berpikir kritis.

b. Persentase Ketuntasan Kelas Kontrol

Pada kelas kontrol yang mengikuti pembelajaran konvensional (PBL), keterampilan berpikir kritis peserta didik juga mengalami peningkatan setelah pembelajaran, meskipun tidak sebesar kelas eksperimen. Rata-rata ketuntasan *pre-test* dan persentase indikator keterampilan berpikir kritis sebelum pembelajaran disajikan pada Tabel 4.6 dan 4.7 berikut.

Tabel 4. 6 Hasil Ketuntasan *Pre-test* Kelas Kontrol

Ketuntasan	Persentase	Jumlah
Tuntas	8,82%	3
Tidak Tuntas	91,17%	31

Tabel 4. 7 Hasil Persentase Indikator Kemampuan Berpikir Kritis *Pre-test* Kelas Kontrol

No	Indikator Berpikir Kritis	Total skor	Persentase
1	Memberikan penjelasan sederhana	282	55%
2	Mengembangkan keterampilan dasar	291	57%
3	Menarik kesimpulan	460	54%
4	Memberikan penjelasan lanjutan	282	55%
5	Merencanakan strategi dan taktik	534	52%
Rata-rata		55%	

Setelah pembelajaran konvensional, keterampilan berpikir kritis peserta didik meningkat, dengan rata-rata persentase *post-test* sebesar 75% dan ketuntasan belajar 64,70% (22 peserta tuntas). Rata-rata ketuntasan *post-test* dan persentase indikator keterampilan berpikir kritis setelah pembelajaran disajikan pada Tabel 4.8 dan 4.9 berikut.

Tabel 4. 8 Hasil Ketuntasan *Post-test* Kelas Kontrol

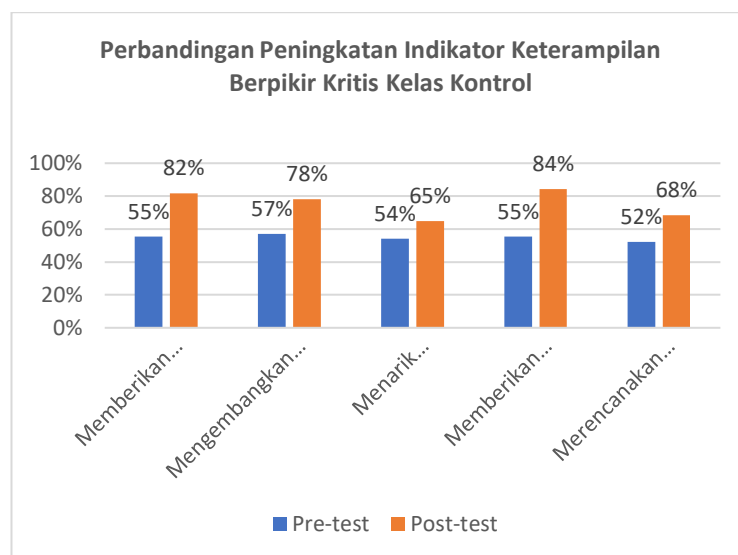
Ketuntasan	Persentase	Jumlah
Tuntas	64,70%	22
Tidak Tuntas	35,29%	12

Tabel 4. 9 Hasil Persentase Indikator Kemampuan Berpikir Kritis *Post-test* Kelas Kontrol

No	Indikator Berpikir Kritis	Total skor	Persentase
1	Memberikan penjelasan sederhana	417	82%

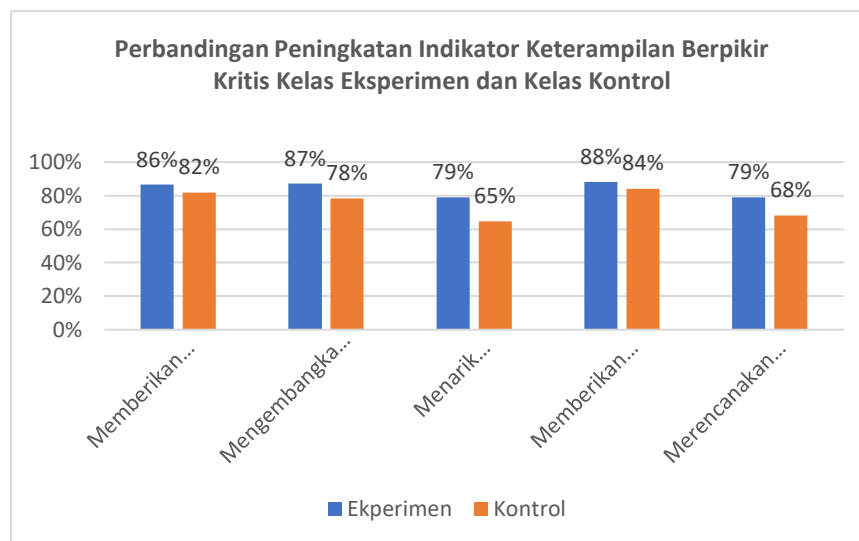
No	Indikator Berpikir Kritis	Total skor	Persentase
2	Mengembangkan keterampilan dasar	399	78%
3	Menarik kesimpulan	550	65%
4	Memberikan penjelasan lanjutan	429	84%
5	Merencanakan strategi dan taktik	696	68%
Rata-rata			75%

Berikut grafik perbandingan peningkatan indikator keterampilan berpikir kritis kelas Kontrol



Gambar 3. Grafik Perbandingan Peningkatan Indikator Keterampilan Berpikir Kritis Kelas kontrol

Berikut juga disajikan grafik perbandingan peningkatan



Gambar 4. Grafik Perbandingan Peningkatan Indikator Keterampilan Berpikir Kritis Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Berdasarkan tabel dan garfik di atas, diketahui bahwa rata-rata persentase keterampilan berpikir kritis peserta didik pada kelas kontrol saat *pre-test* adalah 54,38. Nilai ini berada pada kategori rendah. Dari total 34 peserta didik, hanya 8,82% atau 3 orang yang mencapai ketuntasan, sedangkan 91,17% atau 31 peserta didik lainnya belum tuntas. Jika ditinjau dari indikator, sebagian besar masih berada pada kategori rendah, seperti memberikan penjelasan sederhana (55%), menarik kesimpulan (54%), memberikan penjelasan lanjutan (55%), dan merencanakan strategi serta taktik (52%). Hanya indikator mengembangkan keterampilan dasar yang sedikit lebih baik dengan capaian 57% (kategori sedang).

Setelah memperoleh pembelajaran dengan model konvensional (PBL), hasil *post-test* menunjukkan adanya peningkatan keterampilan berpikir kritis

meskipun tidak sebesar kelas eksperimen. Rata-rata persentase meningkat menjadi 73,26%, yang berada pada kategori tinggi. Persentase ketuntasan belajar juga bertambah, dengan 64,70% atau 22 peserta didik mencapai ketuntasan, sementara 35,29% atau 12 orang masih belum tuntas. Jika ditinjau lebih detail, indikator memberikan penjelasan sederhana (82%), mengembangkan keterampilan dasar (78%), dan memberikan penjelasan lanjutan (84%) sudah berada pada kategori tinggi. Akan tetapi, dua indikator lainnya masih berada pada kategori sedang, yakni menarik kesimpulan (65%) dan merencanakan strategi serta taktik (68%).

Secara keseluruhan, meskipun pembelajaran dengan model konvensional (PBL) pada kelas kontrol mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dari kategori rendah menjadi tinggi, peningkatannya masih belum seoptimal kelas eksperimen. Hal ini terlihat dari rata-rata persentase yang hanya mencapai 73,26% dengan dua indikator masih berada pada kategori sedang, berbeda dengan kelas eksperimen yang hampir seluruh indikator mencapai kategori tinggi hingga sangat tinggi.

4. Analisis N-Gain

Analisis N-Gain digunakan untuk mengetahui peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah mengikuti pembelajaran pada masing-masing kelas. Perhitungan N-Gain dilakukan dengan membandingkan skor *pre-test* dan *post-test* yang dinormalisasi terhadap skor maksimum. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan berdasarkan kriteria tertentu, baik pada rata-rata kelas maupun capaian individu, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai tingkat

efektivitas model pembelajaran yang diterapkan. Hasil perhitungan N-Gain disajikan dalam tabel 4.10 dan 4.11 berikut.

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan N-Gain Rata-rata

Kelas	N	<i>Pre-Test</i> Rata-rata	<i>Post-Test</i> Rata-rata	N-Gain Rata-rata
Eksperimen	34	54,26	82,62	0,62
Kontrol	34	54,38	73,26	0,41

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan N-Gain Individu

Kelas Eksperimen				Kelas Kontrol			
Peserta Didik	<i>N-Gain Score</i>	<i>N-Gain Persen</i>	Interpretasi	Peserta Didik	<i>N-Gain Score</i>	<i>N-Gain Persen</i>	Interpretasi
A-1	1	100	Tinggi	B-1	0,65	64,52	Sedang
A-2	0,78	77,94	Tinggi	B-2	0,41	41,18	Sedang
A-3	0,64	64,44	Sedang	B-3	0,48	47,92	Sedang
A-4	0,50	50,00	Sedang	B-4	0,40	39,53	Sedang
A-5	0,75	74,60	Tinggi	B-5	0,12	12,24	Rendah
A-6	0,87	86,96	Tinggi	B-6	0,90	89,66	Tinggi
A-7	-4	-400	Terjadi penurunan	B-7	1	100	Tinggi
A-8	0,00	0,00	Tetap	B-8	0,49	48,84	Sedang
A-9	-0,19	-18,60	Terjadi penurunan	B-9	0,56	55,77	Sedang
A-10	0,90	89,83	Tinggi	B-10	-0,50	-50	Terjadi penurunan
A-11	0,47	47,46	Sedang	B-11	0,24	23,53	Rendah
A-12	0,61	61,02	Sedang	B-12	0,09	9,30	Rendah
A-13	0,00	0,00	Tetap	B-13	0,88	88,41	Tinggi
A-14	0,69	69,01	Sedang	B-14	-0,50	-50	Terjadi penurunan
A-15	0,85	84,51	Tinggi	B-15	0,00	0,00	Tetap
A-16	0,13	13,04	Rendah	B-16	0,79	78,57	Tinggi
A-17	0,39	39,22	Sedang	B-17	0,31	31,11	Sedang
A-18	0,72	72,22	Tinggi	B-18	0,29	29,17	Rendah
A-19	0,93	92,50	Tinggi	B-19	0,53	53,49	Sedang
A-20	0,78	77,78	Tinggi	B-20	0,76	75,76	Tinggi
A-21	0,49	48,84	Sedang	B-21	0,43	42,50	Sedang

Kelas Eksperimen				Kelas Kontrol			
Peserta Didik	<i>N-Gain Score</i>	<i>N-Gain Persen</i>	Interpretasi	Peserta Didik	<i>N-Gain Score</i>	<i>N-Gain Persen</i>	Interpretasi
A-22	0,46	45,83	Sedang	B-22	0,43	42,86	Sedang
A-23	1	100	Tinggi	B-23	0,42	42,22	Sedang
A-24	0,67	66,67	Sedang	B-24	0,52	51,92	Sedang
A-25	0,92	91,67	Tinggi	B-25	0,75	74,60	Tinggi
A-26	1	100	Tinggi	B-26	-0,12	-11,63	Terjadi penurunan
A-27	0,84	83,67	Tinggi	B-27	-0,04	-3,57	Terjadi penurunan
A-28	0,05	4,88	Rendah	B-28	0,51	51,16	Sedang
A-29	0,57	56,52	Sedang	B-29	0,43	43,14	Sedang
A-30	0,26	25,81	Rendah	B-30	0,65	65	Sedang
A-31	0,67	67,35	Sedang	B-31	0,33	33,33	Sedang
A-32	0,76	76,19	Tinggi	B-32	-0,07	-6,98	Terjadi penurunan
A-33	0,92	91,89	Tinggi	B-33	0,65	64,91	Sedang
A-34	1	100	Tinggi	B-34	0,38	37,50	Sedang

Berdasarkan hasil perhitungan, rata-rata skor *pre-test* keterampilan berpikir kritis pada kelas eksperimen adalah 54,26 dan meningkat menjadi 82,62 pada *post-test*. Perolehan ini menghasilkan nilai rata-rata N-Gain sebesar 0,62, yang berada pada kategori sedang. Sementara itu, kelas kontrol menunjukkan rata-rata skor *pre-test* sebesar 54,38 dan meningkat menjadi 73,26 pada *post-test* dengan rata-rata N-Gain 0,41, yang juga berada pada kategori sedang, namun lebih rendah dibandingkan dengan kelas eksperimen. Jika ditinjau dari kriteria efektivitas, kelas eksperimen termasuk dalam kategori cukup efektif, sedangkan kelas kontrol tergolong kurang efektif.

Analisis per individu menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik di kelas eksperimen memperoleh N-Gain pada beberapa kategori. 16 orang peserta didik mencapai kategori tinggi dengan N-Gain di atas 0,70, untuk katagori

sedang terdapat 11 orang peserta didik, sedangkan katagori rendah ada 3 orang peserta didik. Di sisi lain, terdapat pula peserta didik yang tidak terjadi peningkatan sebanyak 2 orang dan mengalami penurunan keterampilan berpikir kritis sebanyak 2 orang. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun secara umum peningkatan di kelas eksperimen tergolong baik, masih ada variasi capaian individu yang perlu mendapat perhatian.

Pada kelas kontrol, mayoritas peserta didik berada pada kategori sedang, sebanyak 18 orang peserta didik. Hanya sebagian kecil yang berhasil mencapai kategori tinggi, yaitu sebanyak 6 orang peserta didik, 4 orang peserta didik yang mendapat katagori rendah, cukup banyak peserta didik yang mengalami penurunan keterampilan berpikir kritis (N-Gain negatif) yaitu 5 orang. Selain itu, terdapat 1 orang peserta didik yang sama sekali tidak mengalami peningkatan.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa pembelajaran dengan model PjBL berbasis TPACK pada kelas eksperimen mampu memberikan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang lebih tinggi dibandingkan model konvensional (PBL) pada kelas kontrol. Temuan ini mengindikasikan bahwa penerapan PjBL berbasis TPACK lebih berpengaruh dalam memfasilitasi pengembangan keterampilan berpikir kritis peserta didik, meskipun masih terdapat variasi capaian pada tingkat individu.

Nilai N-Gain yang diperoleh kemudian diuji lebih lanjut melalui uji normalitas dan uji homogenitas. Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi data N-Gain keterampilan berpikir kritis pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol mengikuti distribusi normal. Sementara itu,

uji homogenitas dilakukan untuk melihat apakah varians data N-Gain pada kedua kelompok tersebut bersifat sama atau tidak. Hasil dari kedua uji prasyarat ini menjadi dasar dalam menentukan jenis uji statistik yang tepat untuk menganalisis perbedaan peningkatan keterampilan berpikir kritis antara kelas eksperimen dan kelas kontrol.

a. Uji Normalitas N-Gain

Hasil uji normalitas terhadap data N-Gain keterampilan berpikir kritis dilakukan dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* dan *Shapiro-Wilk*. Pada kelas eksperimen, hasil pengujian menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 untuk kedua uji, sehingga lebih kecil dari batas $\alpha = 0,05$. Hal ini menandakan bahwa distribusi data N-Gain pada kelas eksperimen tidak berdistribusi normal. Berbeda dengan kelas eksperimen, pada kelas kontrol diperoleh nilai signifikansi 0,130 (*Kolmogorov-Smirnov*) dan 0,099 (*Shapiro-Wilk*), keduanya lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Dengan demikian, data N-Gain pada kelas kontrol dapat dikatakan berdistribusi normal.

b. Uji Homogenitas N-Gain

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah data N-Gain skor pada kelas eksperimen dan kelas kontrol memiliki varians yang sama atau tidak. Berdasarkan hasil uji homogenitas dengan menggunakan uji Levene, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) pada kolom *Based on Mean* sebesar 0,226. Nilai ini lebih besar dari taraf signifikansi 0,05. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa varians data N-Gain skor antara kelas eksperimen dan kelas kontrol adalah homogen.

c. Uji Beda N-Gain

Setelah dilakukan uji normalitas diperoleh bahwa data N-Gain tidak berdistribusi normal, sehingga analisis perbedaan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol dilakukan menggunakan uji nonparametrik *Mann-Whitney U Test*. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai *Mann-Whitney U* sebesar 363,000 dan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar 0,008. Karena nilai signifikansi lebih kecil daripada taraf signifikansi 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara skor N-Gain kelas eksperimen dan kelas kontrol. Dengan demikian, penerapan model pembelajaran *Project-Based Learning* (PjBL) berbasis TPACK pada materi Kimia Hijau di kelas eksperimen memberikan hasil peningkatan keterampilan berpikir kritis yang lebih baik dibandingkan dengan model pembelajaran konvensional (PBL) di kelas kontrol.

5. Respon Peserta Didik Terhadap Proses Pembelajaran dengan Model PjBL Berbasis TPACK pada Materi Kimia Hijau

Data respon peserta didik mengenai penggunaan model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis TPACK pada materi Kimia Hijau diperoleh melalui penyebaran angket secara langsung dalam bentuk lembar kertas setelah kegiatan pembelajaran selesai dilaksanakan. Angket ini bertujuan untuk mengetahui tanggapan dan perasaan peserta didik terhadap proses pembelajaran yang telah mereka ikuti, khususnya dalam kaitannya dengan penerapan model pembelajaran inovatif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis.

Instrumen angket yang disebarkan terdiri dari tiga aspek utama, yaitu:

(1) respon peserta didik terhadap penggunaan model pembelajaran PjBL

berbasis TPACK, (2) respon peserta didik terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis melalui penerapan model pembelajaran tersebut, serta (3) respon peserta didik terhadap penggunaan model pembelajaran pada materi Kimia Hijau. Hasil pengisian angket kemudian direkapitulasi untuk memperoleh skor rata-rata, persentase, dan kategori yang menunjukkan kecenderungan respon peserta didik. Berikut disajikan rekapitulasi hasil respon peserta didik terhadap model PjBL berbasis TPACK pada materi Kimia Hijau dan untuk menentukan kategori respon tersebut, peneliti menggunakan kriteria persentase sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.12 berikut dari Hidayatullah (2018) dalam Baharia Putri Kusuma (2024), dan rekapitulasi respon peserta didik dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4. 12 Kriteria Kategori Respon Angket Peserta Didik

Kategori	Keterangan
$75\% \leq \text{NRS} \leq 100\%$	Sangat baik
$50\% \leq \text{NRS} < 75\%$	Baik
$25\% \leq \text{NRS} < 50\%$	Kurang
$0\% \leq \text{NRS} < 25\%$	Sangat kurang

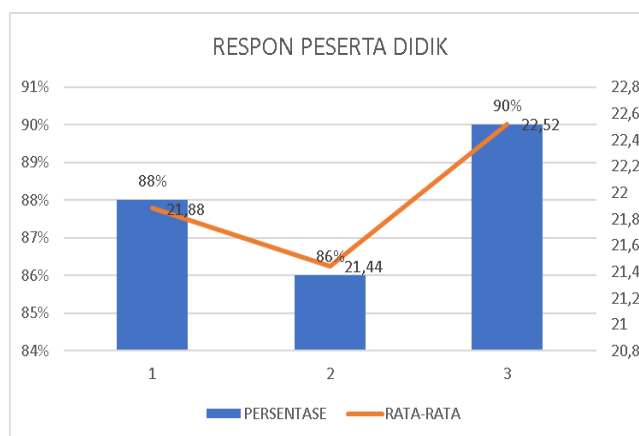
Sumber: (Kusuma dkk., 2024)

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Respon Peserta Didik

Aspek	Nomor Item	Rata-Rata	Persentase (%)	Kategori
Respon peserta didik terhadap penggunaan teknologi dalam pembelajaran berbasis TPACK	1-5	21,88	88	Sangat baik

Respon peserta didik terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis melalui pembelajaran PjBL berbasis TPACK	6-10	21,44	86	Sangat baik
Respon peserta didik terhadap pelaksanaan proyek berbasis TPACK pada materi kimia hijau	11-15	22,52	90	Sangat baik
Rata-rata		21,94	88	Sangat baik

Berikut juga disajikan grafik rekapitulasi respon peserta didik.



Gambar 5. Grafik Rekapitulasi Respon Peserta Didik

Berdasarkan hasil di atas diperoleh nilai persentase angket peserta didik pada setiap aspek menunjukkan hasil yang berbeda. Pada aspek pertama mengenai respon peserta didik terhadap penggunaan teknologi dalam pembelajaran berbasis TPACK diperoleh nilai rata-rata sebesar 21,88 dengan persentase 88% yang termasuk dalam kategori sangat baik. Pada aspek kedua,

yaitu respon peserta didik terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis melalui pembelajaran PjBL berbasis TPACK diperoleh nilai rata-rata sebesar 21,44 dengan persentase 86% yang juga berada pada kategori sangat baik. Selanjutnya, pada aspek ketiga mengenai respon peserta didik terhadap pelaksanaan proyek berbasis TPACK pada materi Kimia Hijau diperoleh nilai rata-rata sebesar 22,52 dengan persentase 90% dan termasuk kategori sangat baik. Adapun rata-rata keseluruhan dari ketiga aspek adalah sebesar 21,94 dengan nilai persentase 88% yang berada pada kategori sangat baik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan model PjBL berbasis TPACK pada materi Kimia Hijau mendapatkan respon yang sangat baik dari peserta didik.

B. Pembahasan

Pembahasan pada penelitian ini menguraikan temuan mengenai penerapan model *Project Based Learning* berbasis TPACK terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik kelas X SMA Negeri 1 Bati-Bati pada materi Kimia Hijau. Uraian difokuskan pada empat aspek utama, yaitu kemampuan awal peserta didik yang diperoleh melalui *pre-test*, capaian hasil belajar setelah diberikan perlakuan melalui *post-test*, tingkat efektivitas model pembelajaran yang digunakan, serta tanggapan peserta didik terhadap proses pembelajaran. Analisis dalam pembahasan ini disajikan dengan menelaah hasil pada kelas eksperimen dan kelas kontrol, kemudian dihubungkan dengan teori-teori yang relevan serta penelitian sebelumnya untuk memperkuat temuan.

1. Kemampuan Awal Peserta Didik (*Pre-test*)

Penelitian ini dilaksanakan pada peserta didik kelas X SMA Negeri 1 Bati-Bati semester ganjil tahun ajaran 2025/2026. Sampel penelitian terdiri dari dua kelas, yaitu kelas X B sebagai kelas eksperimen dan kelas X C sebagai kelas kontrol, masing-masing dengan 34 peserta didik. Pemilihan kelas dilakukan menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan rekomendasi guru mata pelajaran kimia. Sebelum diberikan perlakuan pembelajaran, kemampuan awal peserta didik diukur melalui *pre-test*. Analisis deskriptif menunjukkan bahwa rata-rata nilai *pre-test* kelas eksperimen (X B) sebesar 54,26 dengan nilai minimum 29 dan maksimum 92, sedangkan kelas kontrol (X C) memiliki rata-rata 54,38 dengan nilai minimum 31 dan maksimum 74. Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan awal peserta didik pada kedua kelas relatif setara.

Memastikan kelayakan data sebelum dilakukan perbandingan, maka dilakukan uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk*. Hasil uji menunjukkan nilai signifikansi 0,651 pada kelas eksperimen dan 0,097 pada kelas kontrol, keduanya lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa data *pre-test* berdistribusi normal. Distribusi normal ini penting karena menunjukkan bahwa sebagian besar data terkonsentrasi di sekitar rata-rata, sehingga memungkinkan penerapan uji parametrik (Fajri, 2025).

Selanjutnya, uji homogenitas menggunakan *Levene's Test* menghasilkan nilai signifikansi sebesar 0,131 ($>0,05$), yang menunjukkan bahwa varians data *pre-test* antar kelas adalah homogen. Homogenitas ini menandakan bahwa karakteristik data pada kedua kelas serupa (Nurhaswinda dkk., 2025).

Berdasarkan hasil uji *Independent Sample t-Test*, diperoleh nilai *Sig. (2-tailed)* sebesar 0,970 ($>0,05$). Hasil ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara rata-rata kemampuan awal peserta didik kelas eksperimen (X B) dan kelas kontrol (X C). Dengan kata lain, sebelum diberikan perlakuan, kedua kelas memiliki kemampuan berpikir kritis yang seimbang. Kondisi awal yang setara ini penting karena memastikan bahwa setiap perbedaan hasil belajar yang muncul setelah perlakuan dapat dikaitkan dengan efektivitas model pembelajaran, bukan perbedaan kemampuan awal peserta didik.

2. Hasil Belajar Setelah Perlakuan (*Post-test*)

Hasil belajar setelah diberikan perlakuan menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis peserta didik pada kedua kelas mengalami peningkatan. Sebelum dilakukan analisis perbandingan, uji normalitas *Shapiro-Wilk* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,078 pada kelas eksperimen dan 0,705 pada kelas kontrol. Kedua nilai lebih besar dari 0,05, sehingga data *post-test* pada kedua kelas berdistribusi normal. Uji homogenitas menggunakan *Levene's Test* menghasilkan nilai signifikansi 0,983 ($>0,05$), yang menandakan bahwa varians data *post-test* antar kelas homogen. Dengan demikian, asumsi untuk menggunakan *independent sample t-test* terpenuhi. Hasil uji *independent sample t-test* menunjukkan nilai *Sig. (2-tailed)* sebesar 0,005 ($<0,05$), yang berarti terdapat perbedaan signifikan antara keterampilan berpikir kritis peserta didik kelas eksperimen dan kelas kontrol setelah perlakuan. Dengan kata lain, penerapan model PjBL berbasis TPACK berpengaruh positif terhadap

peningkatan keterampilan berpikir kritis dibandingkan pembelajaran konvensional.

Pada kelas eksperimen, sebelum perlakuan, rata-rata keterampilan berpikir kritis peserta didik sebesar 54,26 dengan ketuntasan belajar hanya 11,76% (4 peserta tuntas). Sebagian besar indikator berpikir kritis masih berada pada kategori rendah hingga sedang, seperti memberikan penjelasan sederhana (53%), menarik kesimpulan (49%), dan memberikan penjelasan lanjutan (55%). Setelah pembelajaran berbasis PjBL dengan integrasi TPACK, keterampilan berpikir kritis meningkat signifikan, dengan rata-rata 82,62 dan ketuntasan 82,35% (28 peserta tuntas). Seluruh indikator berada pada kategori tinggi hingga sangat tinggi, termasuk memberikan penjelasan sederhana (86%), mengembangkan keterampilan dasar (87%), dan memberikan penjelasan lanjutan (88%), sementara indikator menarik kesimpulan dan merencanakan strategi/taktik masing-masing mencapai 79% (kategori tinggi).

Kelas kontrol sebelum perlakuan memiliki rata-rata keterampilan berpikir kritis 54,38 dengan ketuntasan 8,82% (3 peserta tuntas). Sebagian besar indikator masih rendah, dengan hanya indikator mengembangkan keterampilan dasar sedikit lebih baik (57%). Setelah pembelajaran konvensional, rata-rata *post-test* meningkat menjadi 73,26 dan ketuntasan belajar menjadi 64,70% (22 peserta tuntas). Beberapa indikator sudah berada pada kategori tinggi, seperti memberikan penjelasan sederhana (82%) dan memberikan penjelasan lanjutan (84%), namun indikator menarik kesimpulan (65%) dan merencanakan strategi/taktik (68%) masih berada pada kategori sedang. Secara keseluruhan,

hasil ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis PjBL dengan integrasi TPACK mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik lebih optimal dibandingkan pembelajaran konvensional. Kenaikan rata-rata persentase keterampilan berpikir kritis dari *pre-test* ke *post-test* pada kelas eksperimen (28,36) lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol (18,88). Hal ini memperkuat bahwa model PjBL berbasis TPACK tidak hanya meningkatkan ketuntasan belajar, tetapi juga kualitas keterampilan berpikir kritis pada hampir seluruh indikator yang diukur, sedangkan kelas kontrol meskipun meningkat, beberapa indikator masih belum optimal. Berikut hasil observasi keterlaksanaan model pembelajaran pada kedua kelas. Hasil observasi keterlaksanaan model pembelajaran didapatkan hasil 100 % terlaksana

3. Pengaruh penerapan model PjBL berbasis TPACK pada materi kimia hijau terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik kelas X

Peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik dapat dilihat dari selisih skor *pre-test* dan *post-test* pada masing-masing kelas. Rata-rata nilai kelas eksperimen meningkat dari 54,26 menjadi 82,62, sedangkan kelas kontrol naik dari 54,38 menjadi 73,26. Peningkatan ini kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan N-Gain agar tergambar efektivitas pembelajaran secara proporsional. Hasilnya, kelas eksperimen memperoleh rata-rata 0,62 (kategori sedang), sedangkan kelas kontrol hanya mencapai 0,41 (kategori sedang namun lebih rendah). Berdasarkan kriteria efektivitas, model *Project Based Learning* (*PjBL*) berbasis TPACK pada kelas eksperimen termasuk kategori *cukup efektif*,

sedangkan pembelajaran konvensional pada kelas kontrol tergolong kurang efektif.

Tinjauan dari capaian individu juga menunjukkan perbedaan yang cukup jelas. Pada kelas eksperimen, 16 peserta didik berada pada kategori tinggi, 11 orang kategori sedang, dan 3 orang kategori rendah. Meskipun terdapat 2 peserta didik yang tidak mengalami peningkatan serta 2 orang lainnya yang justru mengalami penurunan, secara umum capaian peserta didik cenderung lebih baik. Sementara itu, pada kelas kontrol mayoritas peserta didik (18 orang) berada pada kategori sedang, hanya 6 orang yang mencapai kategori tinggi, sedangkan 4 orang berada pada kategori rendah. Bahkan, 5 peserta didik mengalami penurunan skor dan 1 orang tidak menunjukkan peningkatan sama sekali. Kondisi ini menegaskan bahwa keterampilan berpikir kritis peserta didik di kelas kontrol masih relatif lebih rendah dibandingkan kelas eksperimen, sehingga pembelajaran konvensional kurang optimal dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis.

Hasil uji prasyarat menunjukkan bahwa data N-Gain kelas eksperimen tidak berdistribusi normal ($\text{Sig.} = 0,000 < 0,05$), sedangkan kelas kontrol berdistribusi normal ($\text{Sig.} > 0,05$). Varians kedua kelas homogen ($\text{Sig.} = 0,226 > 0,05$), sehingga analisis perbedaan dilakukan dengan *Mann-Whitney U Test*. Nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar 0,008 ($< 0,05$) mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara kedua kelas. Dengan demikian, dapat ditegaskan bahwa pembelajaran dengan PjBL berbasis TPACK lebih efektif dan

berpengaruh dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis pada materi Kimia Hijau dibandingkan dengan model konvensional.

Temuan ini semakin diperkuat oleh hasil angket respon peserta didik terhadap pembelajaran dengan model PjBL berbasis TPACK. Berdasarkan hasil pengisian angket, mayoritas respon memberikan tanggapan sangat positif. Angket terdiri dari 15 pernyataan positif yang terbagi ke dalam tiga aspek utama, yaitu pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran, peningkatan keterampilan berpikir kritis, serta pelaksanaan proyek pada materi kimia hijau. Aspek pertama (pernyataan 1-5) yang berfokus pada pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran memperoleh nilai rata-rata 21,88 dengan persentase 88% (kategori sangat baik). Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan media digital seperti PowerPoint, Canva, maupun aplikasi lain berbasis internet mampu membantu peserta didik memahami materi dengan lebih menarik, interaktif, sekaligus melatih keterampilan menggunakan teknologi.

Aspek kedua (pernyataan 6–10) yang menilai respon terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis memperoleh rata-rata 21,44 atau 86% (kategori sangat baik). Hal ini mengindikasikan bahwa penerapan PjBL berbasis TPACK mendorong peserta didik untuk lebih analitis, kritis, serta terbiasa menyusun argumen berdasarkan data dan fakta. Aspek ketiga (pernyataan 11–15) yang mengukur respon terhadap pelaksanaan proyek pada materi Kimia Hijau memperoleh rata-rata 22,52 dengan persentase 90% (kategori sangat baik). Peserta didik merasa bahwa keterlibatan langsung dalam merancang dan menyajikan proyek membuat pembelajaran lebih bermakna, menyenangkan,

serta menumbuhkan motivasi belajar. Secara keseluruhan, rata-rata persentase respon peserta didik mencapai 88% dengan kategori sangat baik. Respon positif ini mencerminkan bahwa integrasi PjBL dengan TPACK tidak hanya berpengaruh pada hasil kognitif, tetapi juga meningkatkan motivasi, kreativitas, serta keterampilan abad 21 seperti berpikir kritis, kolaborasi, dan literasi teknologi.

Hal ini sejalan dengan teori yang menyatakan bahwa dalam proses pembelajaran pada PjBL, peserta didik terdorong untuk berpikir lebih mendalam dengan mengeksplorasi percobaan melalui serangkaian pertanyaan yang menuntun mereka pada pemahaman konsep yang lebih bermakna. Melalui kegiatan eksploratif ini, peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang menumbuhkan kemandirian sekaligus memperkuat keterampilan berpikir kritisnya (Ratu dkk., 2021). Selanjutnya, PjBL juga dipandang sebagai pendekatan yang menekankan pengalaman belajar autentik melalui pemecahan masalah nyata, sehingga mendorong peserta didik untuk berpikir kritis, bekerja sama, dan menemukan solusi kontekstual (Mutiarani dkk., 2024).

Sejalan dengan perkembangan tersebut, integrasi pembelajaran menjadi salah satu fokus penting dalam pendidikan global, baik di negara maju maupun berkembang. Salah satu kerangka yang banyak digunakan untuk memperkuat integrasi tersebut adalah *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK). TPACK merupakan kerangka yang menggabungkan pengetahuan teknologi, pedagogik, dan konten sesuai dengan kebutuhan pembelajaran. Kehadiran kerangka ini sangat relevan dalam membekali guru dengan

kompetensi abad ke-21, karena memungkinkan proses pembelajaran berlangsung lebih inovatif, adaptif, dan kontekstual (Oktaviana & Yudha, 2022).

Pada awalnya, guru dalam mengajar hanya menitikberatkan pada aspek materi dan pedagogi. Namun, di era digital, guru juga dituntut untuk mampu memanfaatkan teknologi sebagai bagian dari praktik pembelajaran, maka kolaborasi antara konten, pedagogi, dan teknologi sebagaimana tercermin dalam kerangka TPACK menjadi hal yang sangat penting untuk menciptakan pendidikan berbasis digital yang sesuai dengan tuntutan zaman (Yunizar, 2022). Oleh karena itu, untuk mendukung penerapan PjBL dalam menumbuhkan keterampilan berpikir kritis, diperlukan integrasi dengan kerangka TPACK. Kolaborasi antara PjBL dan TPACK memungkinkan pembelajaran berbasis proyek tidak hanya menekankan pemecahan masalah nyata, tetapi juga memperkuat aspek teknologi, pedagogi, dan konten sehingga proses belajar menjadi lebih relevan, inovatif, dan sesuai dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21. Pembahasan selanjutnya akan menguraikan pengaruh model PjBL berbasis TPACK melalui analisis per sintaknya, sehingga terlihat bagaimana integrasi keduanya mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik secara sistematis.

1. Penentuan Pertanyaan Mendasar

Pada tahap awal, peneliti menayangkan video mengenai permasalahan lingkungan akibat sampah di Banjarmasin melalui LCD/proyektor sebagai stimulus pembelajaran. Peserta didik memperhatikan tayangan tersebut (saintifik–mengamati), kemudian diajak untuk melakukan tanya jawab terkait

penyebab dan solusi dari masalah yang muncul. Beberapa peserta didik maju ke depan kelas untuk membahas pertanyaan mendasar sekaligus mengemukakan alternatif solusi, yang didukung pula dengan diskusi kelas. Dengan bimbingan peneliti, peserta didik mengidentifikasi permasalahan utama yang akan menjadi dasar proyek. Aktivitas ini diperkuat dengan penayangan gambar/video sebagai bahan diskusi, sehingga peserta didik terdorong berpikir kritis. Tahap ini mencerminkan penerapan TPACK, yakni pemanfaatan teknologi digital (TPK), strategi pedagogis berbasis diskusi (PK), serta penguatan konsep lingkungan (CK), dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Peserta Didik Menjawab Pertanyaan Mendasar dan Berdiskusi Bersama

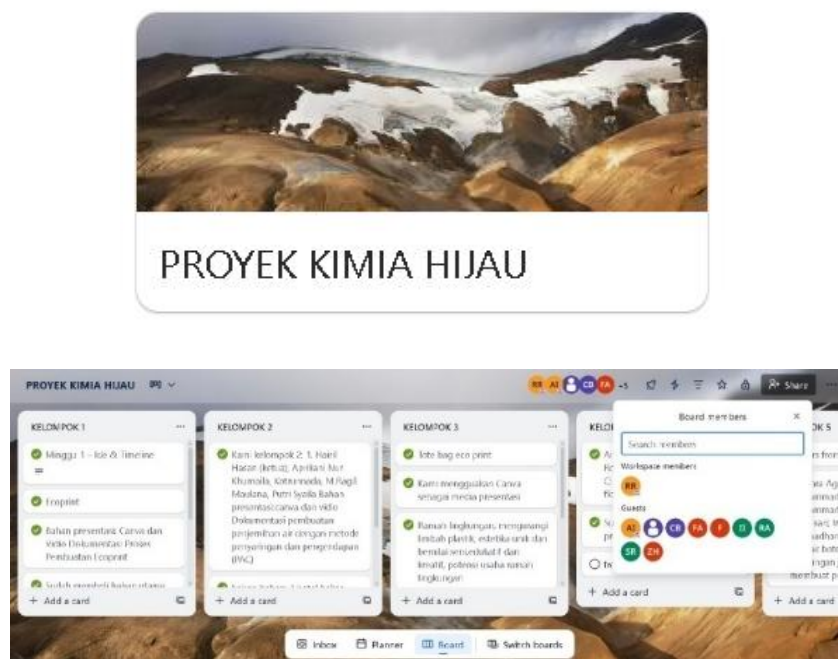
Penggunaan media video yang bersifat visual dan kontekstual dapat membantu peserta didik memahami materi yang abstrak, karena penyajiannya lebih nyata, mudah dipahami, dan mampu meningkatkan keterlibatan mereka dalam proses pembelajaran (Setuju dkk., 2024).

2. Mendesain Perencanaan Proyek

Sintak kedua, peserta didik dibagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan hasil *pre-test* yang telah dilakukan sebelumnya. Pembagian ini bertujuan untuk menciptakan kelompok yang seimbang sehingga kolaborasi dapat berjalan lebih optimal. Setelah bergabung dengan kelompoknya, peserta didik melakukan diskusi awal untuk menyamakan pemahaman. Selanjutnya, peneliti memberikan penjelasan singkat mengenai konsep inti yang berkaitan dengan proyek, khususnya prinsip dasar kimia hijau dan keterkaitannya dengan pengelolaan limbah. Penjelasan ini kemudian ditindaklanjuti dengan diskusi kelompok agar peserta didik dapat memahami arah proyek yang akan dirancang.

Peserta didik diberikan E-LKPD beserta tautan video referensi sebagai sumber belajar tambahan untuk memperkuat pemahaman. Melalui E-LKPD tersebut, peserta didik mendiskusikan masalah lingkungan yang akan diselesaikan, tujuan proyek, bahan yang digunakan, serta keterkaitan proyek dengan prinsip-prinsip kimia hijau. Hasil diskusi ini kemudian dituangkan ke dalam rancangan proyek yang dicatat dalam E-LKPD.

Aspek TPACK juga diterapkan dengan memanfaatkan *Trello* sebagai media perencanaan dan pemantauan proyek. Peserta didik membuat papan *Trello* kelompok yang berisi langkah kerja, pembagian tugas, tenggat waktu, serta dokumentasi kegiatan. Peneliti memberikan panduan penggunaan *Trello* melalui tautan tutorial dan gambar panduan yang tersedia di E-LKPD, sehingga peserta didik dapat mengintegrasikan teknologi dalam perencanaan proyek mereka secara kolaboratif. Berikut tampilan *trello* yang digunakan.



Gambar 7. Tampilan Penggunaan Trello sebagai Media Pengelolaan Proyek Pembelajaran

Trello dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran digital yang mendukung penerapan *Project-Based Learning* (PjBL). Penggunaan *Trello* dalam PjBL tidak hanya mempermudah pengelolaan proyek, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif peserta didik, memfasilitasi kerja sama tim, komunikasi, serta memberikan ruang untuk penilaian formatif dalam proses pembelajaran (Carella & Susanti, 2025).

3. Menyusun Jadwal Proyek

Tahap menyusun jadwal proyek, peneliti bersama peserta didik merancang tahapan kegiatan, menentukan pembagian tugas, serta menetapkan waktu pelaksanaan secara realistis. Penyusunan jadwal ini bertujuan agar alur

kerja proyek lebih sistematis dan setiap anggota memahami tanggung jawabnya. Selain itu, peserta didik menyepakati penggunaan media digital, seperti *Canva* atau *PowerPoint*, untuk mendukung penyajian hasil proyek sekaligus melatih keterampilan berpikir kritis dan kreatif.

Kesepakatan mengenai platform digital serta kriteria keberhasilan proyek (manfaat produk, keterkaitan dengan prinsip Kimia Hijau, dan tingkat kreativitas) menjadi pedoman dalam pelaksanaan kegiatan. Pada kelas eksperimen ini, digunakan E-LKPD yang dapat diakses secara fleksibel melalui perangkat digital. Hal ini sejalan dengan temuan Ayuni (2025) yang menegaskan bahwa E-LKPD memiliki kelebihan berupa aksesibilitas tinggi dan interaktivitas, sehingga mampu meningkatkan motivasi sekaligus mendukung keterampilan berpikir kritis peserta didik (Ayuni dkk., 2025). Berikut tampilan e-LKPD yang digunakan.



Gambar 8. Tampilan e-LKPD yang Digunakan dalam Pembelajaran

4. Memonitor Keaktifan dan Perkembangan Proyek

Peserta didik pada tahap ini membawa hasil sementara proyek yang disusun berdasarkan prinsip kimia hijau. Kegiatan ini menekankan pentingnya proses penyusunan proyek yang sistematis, bukan hanya pada hasil akhir. Melalui kegiatan berbasis proyek, ini peserta didik terlibat aktif melalui kerja kelompok, menyampaikan gagasan secara lisan maupun tulisan, serta menghasilkan produk berbasis material ramah lingkungan (Hidayah dkk., 2025).

Diskusi kelompok diarahkan untuk meninjau ulang isi dan struktur proyek agar sesuai dengan beberapa prinsip kimia hijau, mencakup identifikasi masalah lingkungan, pemilihan prinsip yang diterapkan, proses pengerjaan, dan media presentasi. Aktivitas ini sejalan dengan pendekatan saintifik, khususnya pada tahap mengolah informasi secara kritis, sekaligus melatih keterampilan analitis dan kolaboratif.



Gambar 9. Peserta Didik Menyampaikan Hasil Sementara Proyek

Peserta didik selanjutnya menyempurnakan proyek menggunakan media digital seperti *Canva* atau *Google Slide*. Pembelajaran berbasis digital mampu menciptakan suasana belajar yang interaktif dan kolaboratif, sekaligus berperan dalam pengembangan kemampuan berpikir kritis peserta didik (Fitriani & Prodjosantoso, 2024), sementara peneliti tetap mendampingi melalui pertanyaan pemicu dan bimbingan agar setiap kelompok tetap fokus dan optimal. Dengan demikian, sintak keempat ini mencerminkan penerapan kerangka TPACK dalam desain pembelajaran, di mana integrasi konten (Kimia Hijau), pedagogi (PjBL dan saintifik), serta teknologi (media digital) berkontribusi pada keterlibatan, kolaborasi, dan komunikasi siswa dalam mengembangkan produk kontekstual dan berkelanjutan.

5. Menguji Hasil

Pada tahap menguji hasil, setiap kelompok peserta didik mempresentasikan proyek mereka menggunakan berbagai media, seperti poster digital, *slide* presentasi, video dokumentasi, atau prototipe produk nyata. Kegiatan ini dirancang untuk melatih kemampuan peserta didik dalam mengomunikasikan ide secara ilmiah sekaligus menunjukkan integrasi pengetahuan konten, pedagogi, dan teknologi. Selama presentasi, kelompok diminta menjelaskan aspek penting meliputi permasalahan lingkungan yang diangkat, solusi yang ditawarkan, prinsip kimia hijau yang diterapkan, bahan serta langkah pembuatan, hingga hambatan dan strategi penyelesaiannya. Aktivitas ini mengintegrasikan *Content Knowledge* dan *Pedagogical Content*

Knowledge, karena peserta didik tidak hanya menampilkan produk, tetapi juga mendemonstrasikan pemahaman konsep ilmiah di baliknya. Diskusi antarkelompok melalui sesi tanya jawab memperkuat kolaborasi dan keterampilan berpikir kritis. Hal ini sejalan bahwa model *PjBL* dilaksanakan melalui pemberian tugas proyek secara berkelompok, di mana peserta didik dilatih untuk bergerak aktif, berpikir kritis, berdiskusi, dan berkolaborasi. Proses ini tidak hanya mendorong penyelesaian proyek secara tepat waktu, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis, partisipasi dalam diskusi kelompok, serta keberanian untuk bertanya ketika menemui kesulitan (Riskayanti, 2021).



Gambar 10. Peserta Didik Mempresentasikan Hasil Proyek

6. Evaluasi Hasil Belajar

Peserta didik pada tahap evaluasi hasil belajar, diminta melakukan refleksi individu terhadap keseluruhan proses pembelajaran yang telah diikuti. Refleksi ini mencakup pemahaman mengenai konsep, definisi, manfaat, 12 prinsip, dan aplikasi kimia hijau, sekaligus pengalaman mereka dalam

merancang serta mempresentasikan proyek. Kegiatan refleksi berfungsi sebagai sarana untuk mengukur sejauh mana peserta didik mampu mengevaluasi pemahaman dan pengalaman belajarnya secara mandiri. Pemahaman peserta didik terhadap materi yang disampaikan guru menjadi salah satu tanda bahwa tujuan pembelajaran telah tercapai (Rahmiati dkk., 2022) sama halnya dalam konteks pembelajaran kimia, penguasaan peserta didik terhadap materi yang dipelajari juga mencerminkan tercapainya tujuan pembelajaran (Sarah dkk., 2022). Selain refleksi, peserta didik juga mengerjakan *post-test* berbasis *Google Form* dengan cakupan materi seputar konsep dan definisi kimia hijau, manfaat penerapannya, 12 prinsip beserta contoh aplikasinya, hingga implementasi nyata dalam kehidupan sehari-hari.



Gambar 11. Peserta Didik Mengerjakan *Post-test*

Tahap evaluasi ini sejalan dengan pembelajaran pada abad ke-21, pemanfaatan teknologi dalam dunia pendidikan berkembang sangat pesat. Perkembangan ini turut mendorong inovasi dalam berbagai aspek, salah satunya pada sistem penilaian. Jika pada masa sebelumnya evaluasi pembelajaran

dilakukan secara konvensional menggunakan media kertas, maka saat ini penilaian modern sudah dapat dilaksanakan dengan dukungan teknologi digital (Rosnaeni, 2021).

Berdasarkan uraian hasil tes dan angket serta penjelasan di atas, maka dapat dijawab rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu **terdapat pengaruh penerapan model PjBL berbasis TPACK terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik**. Hal ini terlihat dari adanya perbedaan hasil tes yang jelas antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, di mana keterampilan berpikir kritis peserta didik pada kelas kontrol lebih rendah dibandingkan kelas eksperimen.

Perbedaan ini dapat dipahami karena pada pembelajaran PjBL berbasis TPACK, peserta didik dilibatkan secara langsung dalam proses eksplorasi masalah, penyusunan proyek, dan presentasi hasil dengan dukungan teknologi digital. Pemanfaatan berbagai media pembelajaran seperti *PowerPoint*, *Canva*, *Trello*, dan *Google Form* turut berkontribusi dalam menciptakan suasana belajar yang lebih interaktif, menarik, serta kontekstual dengan kehidupan peserta didik yang lekat dengan penggunaan gawai. Dukungan media berbasis teknologi tersebut tidak hanya mempermudah proses penyampaian materi, tetapi juga meningkatkan partisipasi aktif peserta didik selama pembelajaran berlangsung. Hal ini sejalan dengan hasil angket pada aspek penggunaan teknologi dalam pembelajaran berbasis TPACK (item 1–5), yang memperoleh persentase rata-rata sebesar 88% dan termasuk dalam kategori sangat baik. Temuan tersebut menunjukkan bahwa peserta didik memberikan respon positif terhadap penerapan media digital dalam pembelajaran, karena dianggap mampu

mendukung pemahaman konsep dan keterlibatan mereka secara aktif dalam kegiatan proyek yang dirancang.

Peserta didik terlihat lebih antusias menggunakan teknologi untuk mencari informasi, menyusun ide, serta menampilkan hasil kerja kelompok. Sementara itu, pada pembelajaran konvensional, aktivitas lebih banyak penggunaan media cetak. Hal ini membuat keterlibatan siswa cenderung pasif, sehingga peluang untuk mengasah keterampilan berpikir kritis dan kreativitas menjadi lebih terbatas. Dengan kata lain, integrasi teknologi dalam PjBL berbasis TPACK memberikan ruang yang lebih luas bagi peserta didik untuk berpartisipasi aktif, berkolaborasi, dan mengembangkan keterampilan abad ke-21, dibandingkan dengan pembelajaran konvensional yang relatif monoton dan kurang menekankan pengalaman belajar autentik.

Pola yang muncul dari data juga menunjukkan konsistensi bahwa peserta didik pada kelas eksperimen tidak hanya memperoleh peningkatan skor, tetapi juga menunjukkan ketuntasan belajar yang lebih tinggi. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Eris Ratnawati dan Susilo Praptomo (2023) dengan judul *Penerapan Pembelajaran Kimia Hijau melalui Project Based Learning (PjBL) pada Mata Pelajaran Kimia SMA* menunjukkan bahwa penggunaan model PjBL dapat memberikan dampak positif terhadap hasil belajar peserta didik. Hasil *posttest* memperlihatkan bahwa sebagian besar siswa mencapai predikat baik dan sangat baik, yaitu sebesar 92%, sementara 8% sisanya berada pada kategori cukup. Temuan ini memperlihatkan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi dengan materi Kimia Hijau

mampu meningkatkan capaian belajar siswa secara signifikan(Ratnawati & Praptomo, 2023a).

Penelitian ini juga sejalan bahwa integrasi teknologi melalui pendekatan TPACK mempermudah akses informasi dan mendorong kreativitas siswa dalam menyelesaikan tugas, dapat dilihat dari temuan Cindy Adelia Wardani dan Budi Jatmiko (2021) melalui penelitiannya yang berjudul *The Effectiveness of TPACK-Based Learning Physics with the PBL Model to Improve Students' Critical Thinking Skills*. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa pembelajaran fisika berbasis TPACK dengan model PBL efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SMA Negeri 1 Driyorejo Gresik. Hal ini terlihat dari adanya peningkatan skor keterampilan berpikir kritis yang signifikan dengan nilai rata-rata *n-gain* tergolong tinggi, serta tidak terdapat perbedaan peningkatan keterampilan berpikir kritis antara siswa kelas X IPA 5 dan X IPA 6 (C. A. Wardani & Jatmiko, 2021). Meskipun penelitian tersebut menggunakan model PBL, hasilnya tetap relevan dengan penelitian ini karena keduanya sama-sama menekankan penerapan TPACK untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Penelitian ini juga sejalan dengan temuan Nazah Fauziyah (2025) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa terdapat pengaruh signifikan, di mana hasil uji hipotesis diperoleh nilai $p\text{-value}$ sebesar $0,000 < 0,05$, sehingga H_0 ditolak. Dengan demikian, pada taraf signifikansi 5% dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan kemampuan berpikir kritis matematis antara siswa yang belajar dengan model PjBL berbasis TPACK dan siswa yang

memperoleh pembelajaran konvensional pada materi pecahan di kelas III SD Negeri Muarasari 1 Kota Bogor (Fauziyah, 2025). Meskipun konteks mata pelajaran berbeda, hasil penelitian tersebut memperkuat bahwa penerapan model PjBL berbasis TPACK efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis.

Penelitian ini tidak hanya sejalan dengan— hasil-hasil penelitian terdahulu, tetapi juga menghadirkan kebaruan (*novelty*). Secara umum, penelitian mengenai penerapan model *Project Based Learning* (PjBL) berbasis TPACK memang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Namun, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada peningkatan kemampuan pemecahan masalah matematis, motivasi belajar, atau keterampilan berpikir kreatif peserta didik. Berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu, penelitian ini berupaya mengintegrasikan model PjBL berbasis TPACK secara spesifik pada materi Kimia Hijau dengan tujuan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Kebaruan lain dari penelitian ini terletak pada perbandingan langsung antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, yaitu antara penerapan model PjBL berbasis TPACK dengan model Problem Based Learning (PBL) sebagai pembelajaran konvensional. Perbandingan ini memberikan kontribusi empiris yang lebih komprehensif mengenai pengaruh integrasi TPACK dalam pembelajaran kimia yang kontekstual dan relevan dengan prinsip *Green Chemistry*. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memperluas penerapan model PjBL berbasis TPACK pada bidang studi kimia, tetapi juga memperkaya kajian mengenai bagaimana teknologi, pedagogi, dan konten dapat

diintegrasikan secara sinergis untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik sekaligus menumbuhkan kesadaran terhadap isu lingkungan.

4. Keterbatasan Penelitian dan Solusi yang Dapat Dilakukan

Berdasarkan pengalaman peneliti selama melaksanakan penelitian, terdapat sejumlah keterbatasan yang dirasakan dalam proses pelaksanaan. Hal-hal ini penting untuk dicatat agar penelitian serupa di masa mendatang dapat mengantisipasi kendala yang mungkin muncul. Dengan mempertimbangkan keterbatasan tersebut, diharapkan penelitian berikutnya dapat lebih terarah, efektif, dan memberikan hasil yang lebih optimal. Adapun keterbatasan penelitian ini meliputi:

- 1) Satu kelompok pada penelitian ini, bahan atau alat yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek tidak dapat tersedia sesuai jadwal sehingga kelompok tersebut mengalami kegagalan dalam menyelesaikan proyek. Kondisi ini memengaruhi kelancaran proses pembelajaran berbasis proyek yang seharusnya berjalan sesuai rencana.
- 2) Kurangnya komunikasi antar anggota kelompok, beberapa kelompok mengalami hambatan koordinasi, terutama dalam membagi tugas dan menyatukan ide. Hal ini berdampak pada efektivitas kerja sama kelompok serta pencapaian hasil proyek yang diharapkan.

Sebagai upaya untuk mengatasi kendala tersebut, peneliti selanjutnya disarankan untuk melakukan perencanaan waktu yang lebih matang, termasuk menyiapkan bahan dan alat pendukung jauh sebelum proyek dilaksanakan.

Selain itu, penting untuk memberikan pengarah awal mengenai pentingnya komunikasi dan kolaborasi tim.